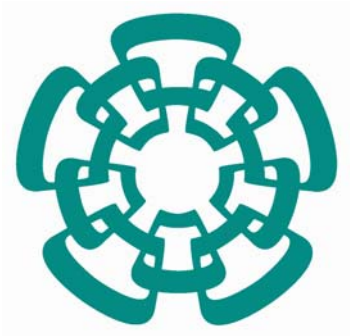
Instituto de Ciencia y Tecnología del Distrito Federal
Ciencia y Tecnología para impulsar tu Ciudad



CINVESTAV IPN
Departamento de Ingeniería Eléctrica, Sección Bioelectrónica

INFORME FINAL DEL PROYECTO

Título del proyecto

Desarrollo de un Equipo Ultrasónico para Fisioterapia

Responsable(s) del proyecto
Lorenzo Leija Salas y Arturo Vera

Estudiante: Mario Ibrahim Gutiérrez

Agosto del 2009

INFORME FINAL DE PROYECTO

1. Resumen técnico

a) TÍTULO DEL PROYECTO:

Desarrollo de un Equipo Ultrasónico para Fisioterapia

Institución e investigador responsable

- Lorenzo Leija Salas y Arturo Vera; ambos profesores del CINVESTAV-IPN, departamento de Ingeniería Eléctrica, Sección de Bioelectrónica.

Investigadores participantes

- Nombre de los investigadores participantes en el proyecto y las instituciones a las que pertenecen

Josefina Gutiérrez Martínez; Instituto Nacional de Rehabilitación (INR)
Antonio Ramos Fernández; Instituto de Acústica, CSIC, España

b) OBJETIVOS DEL PROYECTO (CONVENIO). Se entrega un informe técnico ampliado en **ANEXO 1**.

Objetivo general del proyecto

Desarrollar un equipo de terapia ultrasónica para rehabilitación.

Tiene las características técnicas siguientes:

- Intensidades acústicas que no sobrepasen los 3 W/cm^2.
- Frecuencia de trabajo ajustable al transductor 1 MHz ±20% [1].
- Potencia ajustable independiente de las variaciones de carga.
- Máxima eficiencia.
- Señal de salida senoidal (de preferencia).
- Opción de señal pulsada con intervalos ajustables (ciclo útil).
- Detección de falta de carga (error en el acoplamiento)

Objetivos particulares del proyecto.

1) Diseñar un circuito general que contenga los diferentes subcircuitos del sistema de fisioterapia.

El equipo de ultrasonido diseñado se compone de los bloques de la figura siguiente. Se muestra el diagrama a bloques del sistema completo. La fuente de voltaje continuo para el amplificador es obtenida de la rectificación del voltaje de alimentación alterno de línea (120 Vac).

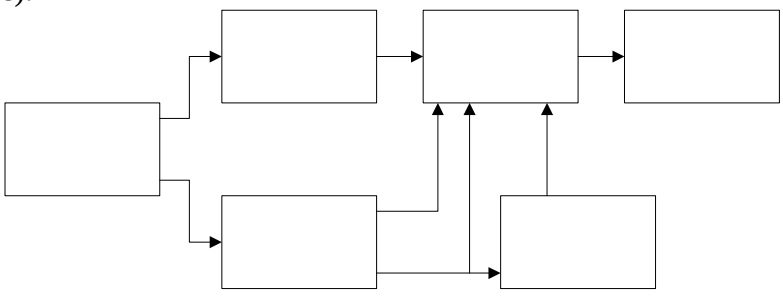


Diagrama a bloques del equipo completo.

2) Diseñar y construir un chasis comparable a los que contienen los equipos que hay en el mercado.

Equipo ultrasónico prototipo para fisioterapia

3) Tener el primer modelo eléctrico de prueba del sistema de fisioterapia ultrasónica. El equipo se muestra en la figura anterior. Este equipo es el utilizado en las pruebas realizadas en el INR.

4) Probar que el sistema cumpla la normativa internacional en este tipo de equipos. El equipo no presentó problemas de funcionamiento en cuanto a su manejo. Las pruebas indicaron que el equipo necesitaba un ajuste en intensidad para proporcionar un tratamiento similar a los comerciales ya que "aparentemente" entregaba más energía de la deseada. Sin embargo, la comparación con un equipo comercial no asegura un buen funcionamiento del equipo desarrollado debido a la carencia de normas adecuadas y de procedimientos de calibración y ajuste de los equipos utilizados en clínica. Hay una gran cantidad de referencias que indican que el 80% de los equipos de ultrasonido comerciales entregan unas intensidades inadecuadas que no están de acuerdo con lo que indican en el panel de control [26-31]. Se debe confiar en las mediciones con equipos de medición calibrados y no con escalas subjetivas de apreciación sensitiva. La calibración y ajuste se realizó posteriormente usando un C-scan (ya utilizado en el diseño) y una balanza de radiación acústica para medir la potencia del equipo. Los resultados indicaron un ligero (20%) dentro de las tolerancias indicadas por las normas.

La caracterización se hizo tomando en cuenta las necesidades de las pruebas a que se sometería el equipo, muy superiores a las pruebas de equipos convencionales. En estos, la energía ultrasónica se va a aplicar sobre un sustituto de tejido biológico (phantom) para producir calor. La acumulación de calor obtenida depende principalmente de la absorción del ultrasonido en el medio y se relaciona directamente con la intensidad acústica puntual. Los datos técnicos del transductor se muestran en la Tabla 1.

Las secuencias de centrado sirven para determinar cuando el elemento piezoeléctrico (no el aplicador) está correctamente direccionado. En la Figura 1 se muestran las gráficas en los ejes X y Y del transductor en las que se puede observar que el punto de mayor tensión eléctrica (que equivale a presión acústica) se encuentra exactamente al centro de la emisión ultrasónica. Con múltiples repeticiones es posible ubicar el centro antes de realizar la captura de datos en los planos de interés.

Tabla 1. Características principales del transductor.

Fabricante	Mettler Electronics, USA
Modelo	MET7310
Frecuencia	1 MHz (+/- 10%)
ERA	10 cm^2 (+/- 20%)
Potencia de salida	0.1 a 2 W/cm^2 (+/- 20%)
BNR	<6:1 (+/- 30%)

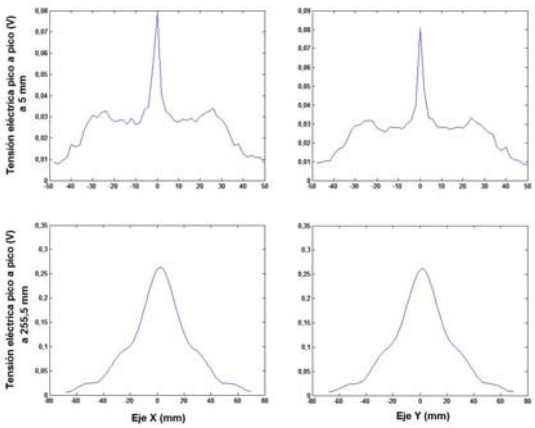


Figura 1. Barridos en X y Y a diferentes distancias del transductor. El pico máximo se encuentra en el centro de la emisión.

La mayoría de los parámetros de interés se pueden obtener a través del patrón de radiación del transductor. Con el C-scan se pueden obtener planos transversales a diferentes distancias del transductor, o planos paralelos a la dirección de propagación. En la Figura 2 se muestra el plano XZ medido en el centro del transductor donde se puede observar la distancia focal real. En base a los datos técnicos y las tolerancias indicadas por el fabricante. Si se considera el área efectiva nominal de 10 cm^2, el foco teórico es de 33.8 cm. En la Figura 2, la región de mayor intensidad acústica está a los 25 cm del transductor.

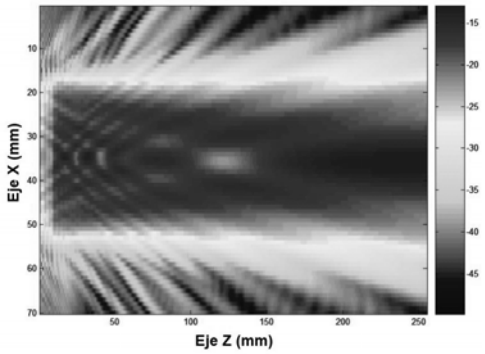


Figura 2. Patrón de radiación del transductor US en dBmV obtenido con el C-scan. Dirección de propagación (eje Z); posición del transductor (eje X).

Efecto de la temperatura en Phantoms de músculo

Elaboración del Phantom

Para las pruebas de calentamiento se realizó un phantom agar-agar que simula el tejido biológico de interés: el músculo. Las propiedades acústicas medidas del phantom realizado se pueden ver en la Tabla 2. El phantom realizado fue una mezcla de varios componentes que en total tenía un volumen de 500 ml; estaba compuesto de:

- Agua bidestilada (c.b.p. 500 ml)
- Grafito 5% (25 g)
- Glicerina 10% (10 ml)
- Agar-Agar 2.5% (13.5g)

Tabla 2. Propiedades acústicas medidas del phantom de músculo se muestran 2 valores los obtenidos con nuestro instrumento y el valor esperado normalizado.

Magnitud (a 36.7°C)	Medida	Esperada
Atenuación (dB/cm)	0.807	0.5-1.3
Velocidad de propagación (m/s)	1537.51	1520-1580

5) Probar el sistema en hospital para conocer los problemas de uso del médico.

El equipo de ultrasonido desarrollado fue probado en el ***Instituto Nacional de Rehabilitación*** por fisioterapeutas experimentados. El protocolo que se llevó a cabo fue el siguiente:

1. Fueron tratados con este equipo pacientes del servicio de rehabilitación de miembro superior del INR.
2. La patología tratada fue el Síndrome del Túnel Carpiano ya que es muy frecuente su atención en el instituto.
3. Se utilizó en todos los pacientes, bajo consentimiento de ellos, el equipo de ultrasonidos desarrollado.
4. El número de pacientes considerado para el estudio fue de 22.
5. Los pacientes fueron tratados en la etapa subaguda del padecimiento, por lo tanto, requieren además otros medios fisioterapéuticos como calor y mesoterapia.
6. El tiempo de aplicación de los ultrasonidos fue de 5 minutos, antes de la aplicación de los otros medios terapéuticos.
7. Al final de los 5 minutos se realizó un análisis físico y visual de la región tratada en busca de los efectos físicos sobre los tejidos como son el aumento de la temperatura, cambios de coloración y percepción de sensaciones como hormigueo y disminución del dolor.
8. Los datos fueron recogidos mediante cuestionarios.
9. Todas las aplicaciones del ultrasonido serán proporcionadas por un fisioterapeuta calificado.

El ultrasonido se aplicó en 22 ocasiones, en pacientes que presentaron el síndrome de túnel carpiano secundario a fractura de radio o del codo y traumatismo de tejidos blandos del antebrazo. Las terapias se efectuaron de acuerdo a los protocolos ya establecidos: se incrementa gradualmente la potencia hasta que el paciente comience a sentir una sensación de hormigueo o calor hasta llegar a un máximo de 1 W/cm^2. La técnica básica para la aplicación de ultrasonido requiere de algunos sencillos pasos:

- Utilizar entre el transductor y la piel del paciente un medio de transmisión de ultrasonidos.
- Realizar continuamente movimientos circulares sobre el área a tratar de aproximadamente el doble del tamaño del cabezal.
- NO exceder el tiempo de aplicación recomendado para el padecimiento tratado.

- Corroborar el adecuado funcionamiento del equipo mediante la aplicación de agua al transductor y observar las vibraciones en ésta.

Se utilizó el siguiente cuestionario para la recolección de datos:

Datos generales

Expediente:
Nombre del paciente: Edad: Sexo:
Diagnóstico: Tiempo de evolución:
Fecha de la sesión de terapia: Número de sesión:

Efecto	***Escala subjetiva***	
	Antes de la sesión	Después de la sesión
Percepción de calor	0-1-2-3-4-5	0-1-2-3-4-5
Dolor	0-1-2-3-4-5	0-1-2-3-4-5
Sensación de hormigueo	0-1-2-3-4-5	0-1-2-3-4-5
Coloración	Palidez-rosa-rojo (1-2-3)	
Arco de movimiento	Reducidos-limitados-completos (1-2-3)	

Preguntar ¿cómo se siente en general y a nivel local?
Otros medios fisioterapéuticos proporcionados: Sí ¿Cuáles?
No

6) Hacer las correcciones pertinentes al prototipo. Estas correcciones son modificaciones de añadidos sobre el chasis, por esta razón no se han hecho. Implica hacer otro equipo y eso nos cuesta dinero.

g) Elaborar un manual de uso del equipo. **Anexo 3**

c) OBJETIVOS CUMPLIDOS.

Objetivos cumplidos.

Actividad	**Porcentaje de avance**
1) Diseñar un circuito general que contenga los diferentes subcircuitos del sistema de fisioterapia.	100%
a1 Desarrollo del sintetizador de frecuencia	100%
a2 Desarrollo del amplificador a transformador	100%
a3 Circuito del detector de contacto piel-aplicador	100%
a4 Pruebas al aplicador ultrasónico	100%
a5 Circuito del control del modo de operación	100%
2) Diseñar y construir un chasis comparable a los que contienen los equipos que hay en el mercado.	100%
3) Tener el primer modelo eléctrico de prueba del sistema de fisioterapia ultrasónica.	100%
4) Probar que el sistema cumpla la normativa internacional en este tipo de equipos.	100%
5) Probar el sistema en hospital para conocer los problemas de uso del médico.	100%
6) Hacer las correcciones pertinentes al prototipo	30%
7) Elaborar un manual de uso del equipo.	100%

d) (**ANEXO 2**) Productos académicos del estudiante Mario Ibrahim

Tesis de *Mario Ibrahín Gutiérrez Velasco* para obtener el grado de; Doctorado en Ciencias en Ingeniería Eléctrica. Título; **"Estudio de la radiación ultrasónica de potencia media en equipos de fisioterapia: Instrumentación, modelado de la radiación y pruebas en phantom" (En proceso).**

Publicaciones **Congresos Internacionales**

- **Título**: Ultrasound Physiotherapy Equipment for Research

Autor: Gutierrez, M.I.; Vera, A.; Leija, L.
Congreso: Pan American Health Care Exchanges 2008
Lugar: Long Beach - Los Angeles, California
Fecha: 2 de febrero de 2008

- **Título**: Therapy Ultrasound Equipment Characterization: Comparison of Three Techniques

Autor: Gutierrez, M.I.; Leija, L.; Vera, A.
Congreso: 30th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society
Lugar: Vancouver, British Columbia, Canada
Fecha: 20-24 de agosto de 2008

- **Título**: Modulation of the Driven Signal Applied to an Ultrasound Therapy Transducer

Autor: Gutierrez, M.I.; Leija, L.; Vera, A.
Congreso: Pan American Health Care Exchanges 2009
Lugar: Mexico City, Mexico
Fecha: 16 de marzo de 2009

Publicación en Congresos Nacionales

Título: Determinación y Evaluación del Campo Acústico de Transductores Ultrasónicos para Fisioterapia
Autor: Gutiérrez, M.I.; Leija, L.; Vera, A.
Congreso: Simposio Nacional de Metrología 2008, CENAM
Lugar: Santiago de Querétaro, México
Fecha: 22-24 octubre de 2008

Artículo de Revista

Título: Physiotherapy Ultrasonic Device with Amplitude-Modulated Output to Control the Power Deposition
Autor: Gutiérrez, M.I.; Vera, A.; Leija, L.
(En revisión)

Capítulos de libros

Capítulo: Methods for Characterization Physiotherapy Ultrasonic Transducers
Libro: Recent Advances in Biomedical Engineering
Publica: IN-TECH (**Aceptado para publicación).**

e) IMPACTO DEL PROYECTO

- Aplicaciones prácticas: Este equipo tiene su aplicación médica en terapia, es usado en la reparación acelerada de fracturas de huesos, en el tratamiento de problemas musculares, en el tratamiento de lesiones en las articulaciones, más otras aplicaciones terapéuticas que requieren elevación de temperatura y movimiento mecánico
- Problemas que resolvió este proyecto y beneficios para la ciudad. El equipo resultante del proyecto es el primero que se hace en el país, cubre una necesidad de disminuir costos contra los equipos importados por ser un desarrollo tecnológico propio. El beneficio es que se puede multiplicar en el número que se quiera.
- Vinculación con dependencias de gobierno, centros de investigación y empresas. La vinculación es la contribución del ICyTDF para su culminación. La vinculación en las pruebas y validación de médicos e investigadores del ***Instituto Nacional de Rehabilitación de la SSA***. No tenemos todavía quien lo multiplique.
- Alcances a corto, mediano y largo plazo. El alcance mayor es que se multiplique y se use en los hospitales del DF, es un proyecto que sigue desarrollándose y se tendrá un modelo más desarrollado en 2 años, la idea del nuevo desarrollo es que sea capaz de competir con lo mejor que hay en el mercado.

Informe financiero

En el mismo formato de los reportes parciales.

PROYECTO: **Desarrollo de un equipo ultrasónico para terapia muscular**

Fecha	Rubros a Financiar	Monto PMX	Monto USD	Monto Euros
	Gasto corriente			
10/04/2008	REQ. MATERIAL	$33,718.75		
30/09/2008	OPR TRANSPORTE DR. LEIJA	$16,135.51		
30/09/2008	OPR VIÁTICOS DR. VERA		1,200.00	
31/10/2008	OPR TRANSPORTE DR. GUILLEMIN (Nancy, Francia)			$1,000.00
12/08/2009	REQ. MATERIAL PARA PROTOTIPOS		1,250.99	
10/08/2009	OPR PREMIER FARNELL (PROTOTITPOS)	$ 958.63		
14/08/2009	REQ. KIT (Mat. Diverso)		1,115.00	
14/09/2009	OPR DR. ARTURO VERA (Material Diverso)	$ 1.887.46		
14/09/2009	OPR DR. ARTURO VERA (mat. Diverso)	$ 2,296.55		
14/09/2009	REQ. BIOXIDO (Material Diverso)	$ 1,495.00		
	MATERIAL ELÉCTRICO	$ 448.50		
	COMPILADOR	$ 1,116.53		
	METALES DÍAZ (Material Diverso)	$ 1,387.00		
	CIRCUITOS IMPRESOS	$ 2,300.00		
	CIRCUITERIA		764.57	
			303.47	
27/09/2009	REEMB. DR. VERA COMPRA DE MAT. ELECTRONICO	$ 418.99		
	Total gasto corriente	**62,162.92**	**4,634.03**	**1,000.00**
	Gasto inversión			
09/04/2008	REQ. COMPUTADORA	$27,932.21		
	TRANSDUCTOR ULTRA		1,560.00	
	Total gasto inversión	$27,932.21	**1,560.00**	
13.30 PMX=1 USD	Total gasto corriente + gasto inversión:	90,095.13	6,194.03 USD=	1,000.00 Euros
19.14 PMX=1 Euro	Total gasto corriente + gasto inversión PMX:	90,095.13	82,380 PMX	19,140.00 PMX

	Total gasto corriente + gasto inversión PMX:	**191,615.73 PMX**

Cabe señalar que es obligatorio que el informe final cuente con todos los campos solicitados y que se entregue por **triplicado** de manera impresa y en medio electrónico (Word, Excel, Acrobat, etc.) mediante de una carta de terminación dirigida a la Dra. Esther Orozco, Directora General del ICyTDF, con copia para la Dra. Cecilia Bañuelos Barrón, Directora de Investigación en Salud Biotecnología y Medio Ambiente del ICyTDF. Se solicita remitir una copia del acuse de recibido del informe al correo dsbma.icyt@gmail.com con el fin de darle el seguimiento correspondiente.

ENTREGABLES

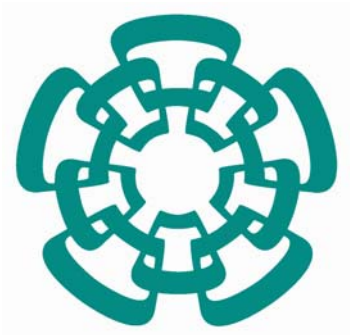
Documentación que sustente la relación de los entregables (informes técnicos, copia del registro de patente, impresiones de artículos, tesis, catálogos, planos; prototipos o dispositivos; bases de datos y *software*).

ANEXO 1; INFORME FINAL, REPORTE TÉCNICO

ANEXO 2; Publicaciones Académicas

ANEXO 3; MANUAL DEL USUARIO, Equipo Ultrasónico para Fisioterapia

INSTITUTO DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA DEL DISTRITO FEDERAL
Ciencia y Tecnología para impulsar tu Ciudad



CINVESTAV IPN
Departamento de Ingeniería Eléctrica, Sección Bioelectrónica

ANEXO 1

INFORME FINAL
REPORTE TÉCNICO

Título del proyecto

Desarrollo de un Equipo Ultrasónico para Fisioterapia

Responsable(s) del proyecto

Lorenzo Leija Salas y Arturo Vera

Estudiante: Mario Ibrahim Gutiérrez

Agosto del 2009

ANEXO 2

RELACIÓN DE ENTREGABLES (PRODUCTOS PATENTADOS O REGISTRADOS, TESIS, PROTOTIPOS, CATÁLOGOS, BASES DE DATOS, MAPAS, DOCUMENTALES, VIDEOS, EVENTOS, ARTÍCULOS PUBLICADOS, *SOFTWARE*, ETC.).

Tesis de *Mario Ibrahín Gutiérrez Velasco* para obtener el grado de; Doctorado en Ciencias en Ingeniería Eléctrica. Título; **"Estudio de la radiación ultrasónica de potencia media en equipos de fisioterapia: Instrumentación, modelado de la radiación y pruebas en phantom" (En proceso).**

Publicaciones **Congresos Internacionales**

Título: Ultrasound Physiotherapy Equipment for Research
Autor: Gutierrez, M.I.; Vera, A.; Leija, L.
Congreso: Pan American Health Care Exchanges 2008
Lugar: Long Beach - Los Angeles, California
Fecha: 2 de febrero de 2008

Título: Therapy Ultrasound Equipment Characterization: Comparison of Three Techniques
Autor: Gutierrez, M.I.; Leija, L.; Vera, A.
Congreso: 30th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society
Lugar: Vancouver, British Columbia, Canada
Fecha: 20-24 de agosto de 2008

Título: Modulation of the Driven Signal Applied to an Ultrasound Therapy Transducer
Autor: Gutierrez, M.I.; Leija, L.; Vera, A.
Congreso: Pan American Health Care Exchanges 2009
Lugar: Mexico City, Mexico
Fecha: 16 de marzo de 2009

Publicación en Congresos Nacionales

Título: Determinación y Evaluación del Campo Acústico de Transductores Ultrasónicos para Fisioterapia
Autor: Gutiérrez, M.I.; Leija, L.; Vera, A.
Congreso: Simposio Nacional de Metrología 2008, CENAM
Lugar: Santiago de Querétaro, México
Fecha: 22-24 octubre de 2008

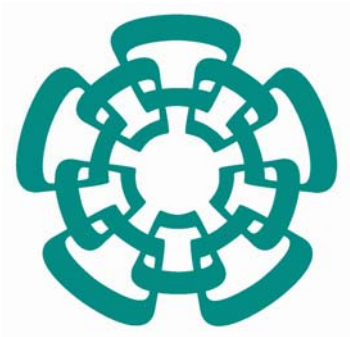
Artículo de Revista

Título: Physiotherapy Ultrasonic Device with Amplitude-Modulated Output to Control the Power Deposition
Autor: Gutiérrez, M.I.; Vera, A.; Leija, L.
(En revisión)

Capítulos de libros

Capítulo: Methods for Characterization Physiotherapy Ultrasonic Transducers
Libro: Recent Advances in Biomedical Engineering
Publica: IN-TECH (**Aceptado para publicación).**

INSTITUTO DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA DEL DISTRITO FEDERAL
Ciencia y Tecnología para impulsar tu Ciudad



CINVESTAV IPN
Departamento de Ingeniería Eléctrica, Sección Bioelectrónica

ANEXO 3

MANUAL DEL USUARIO

Equipo Ultrasónico para Fisioterapia

Responsable(s) del proyecto
Lorenzo Leija Salas y Arturo Vera

Elaborado por: Mario Ibrahim Gutiérrez

Agosto del 2009